

UDC 528.782
528.77(521.2)

地球資源衛星ディジタルデータの多次元画像解析

Multispectral Analysis of ERTS Digital Data

村 井 俊 治*・辻 内 延 行*

Shunji MURAI and Nobuyuki TSUJIUCHI

地球資源衛星 (ERTS) から得られる宇宙写真は、いわゆるレンズカメラでフィルム上に撮影されたものでなく、マルチスペクトルスキャンナで4つの波長域のスペクトル反射強度をディジタルなビデオ信号としてとりだし、これを地上で画像化してつくられたものである。したがってディジタル画像データはオリジナルなデータであり、解像力はフィルム化された ERTS 写真よりはるかにすぐれている。著者らは、関東地方の ERTS ディジタル磁気テープを入手したので、多次元画像解析を行った。

はじめに

ERTS 衛星および ERTS 映像の概要については、すでに生産研究の本年3月号に紹介した。本論文を理解していただくために最小必要限の基本知識を再度整理した上で、ERTS ディジタル画像データのデータ構造を紹介する。つぎに、これらのディジタル画像データの一次元および二次元のヒストグラムをとり、格納されている画像データの特徴を考察する。またこれらのヒストグラムのレベルをいくつかの階級に分けて、それらを濃淡増幅して画像化した。さらに、原データを4つの前処理モードにかけたものの一次元および二次元のヒストグラムを作成し、その挙動について考察した。二次元のヒストグラムは、二次元の画像空間を形成する。この画像空間のなかで、確率的に特徴的であると思われる領域をいくつか拾い出し、これらを画像化した。

以上に示した多次元画像処理は、地上の土地利用現況と比較して、どのような処理方法が地上の物体のどんな特徴と関連するかまで発展させるべきであるが、本論文の範囲は、ERTS ディジタルデータの統計的処理および画像化のみについて紹介する。土地利用の自動判読および特徴抽出については、他の機会に紹介したい。

1. ERTS ディジタル磁気テープのデータ構造

1.1 ERTS データ

ERTS データには、つぎの情報が含まれている。

- (1) 写真番号 (ID RECD): 写真番号から衛星名、撮影年月日および時刻がわかるようになっている。
- (2) 注記データ (ANNOT RECD): 写真撮影日時、撮影場所の経緯度、太陽高度および方位角などが記載されている。
- (3) 画像データ: 4つのスペクトルバンドの画素毎およびスキャンライン毎の画像データが格納されている。

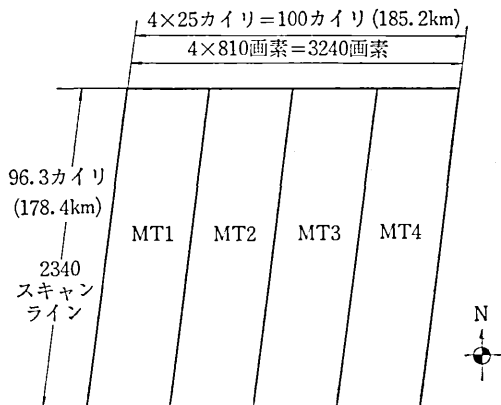


図1 ERTS ディジタルデータの概要

- (4) キャリブレーションデータ: マルチスペクトルスキャンナのセンサー、太陽などに関するキャリブレーションデータがスキャンライン毎に収録されている。

ERTS 写真一枚分のディジタルデータは、図1に示すように、4本の9トラック800BPIの磁気テープに格納され、1本の磁気テープは、25カイリ×96.3カイリに相当する地域の画像データが含まれている。撮影される地域は長方形ではなく、すこしスキューしている。一枚の ERTS 写真は3240画素からなる2340スキャンラインの画像データからなる。1画素は約57m×76mの地上の面積に対応する。

1.2 画像データ

1本の磁気テープに格納されているデータは、図2に示されるように、2342レコードで構成されており、その内容はつぎのとおりである。

- (1) ID RECD.....40 バイト
- (2) ANNOT RECD.....624 バイト
- (3) 2340 スキャンライン分の画像データおよびキャリブレーションからなる2340のレコード
.....(3240+56)×2340 バイト

* 東京大学生産技術研究所 第5部

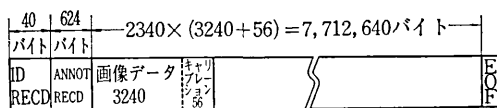


図 2 ERTS デジタル磁気テープ内のデータ

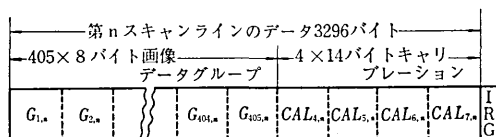


図 3 1 スキャンライン内のデータ

8 バイト画像データグループ							
2m-1	2m	2m-1	2m	2m-1	2m	2m-1	2m
バンド 4 (緑) 0.5~0.6μ		バンド 5 (赤) 0.6~0.7μ		バンド 6 (近赤外) 0.7~0.8μ		バンド 7 (赤外) 0.8~1.1μ	

図 4 画像データグループ

1本の磁気テープ内の1スキャンラインのデータは、図3に示されるように、405個の8バイトからなる画像データグループと4個の14バイトからなるキャリブレーショングループで構成される。

8バイトからなる画像データグループは、図4に示されるように、おのおののバンドに対して2画素ずつで構

成されている。1画素の画像データは、8ビットからなる1バイトで表現される。画像の値は、8ビットのうち7ビット分、すなわち0から127までの128レベルの数値であるが、実際には0から高々60ぐらいまでの数値である。

画像データの0の数値は写真の上では黒色に対応し、数値の大きいもの程白色である。

2. ERTS 原データの統計処理

2.1 一次元ヒストグラムの作成とその画像化

昭和47年11月26日に撮影された関東地方のERTS映像(ID No. 112600484)の4巻の磁気テープを用いて、第361画素から第2110画素までの1750画素分および第771ラインから第2340ラインまでの1570ライン分のほぼ関東中央部(約100km×120km)をとり出し、各バンド毎の画像データのヒストグラムを作成した。

各バンドについて、1750×1570=2,747,500画素の最

表 1 ERTS データの統計値

	バンド4	バンド5	バンド6	バンド7
最大値	127	127	127	63
最小値	3	0	0	0
平均値	19.56	14.13	16.83	8.18
標準偏差	3.09	4.68	7.53	4.48
実効範囲	11~60	4~64	0~71	0~32

注：最大値の127はノイズと思われる。

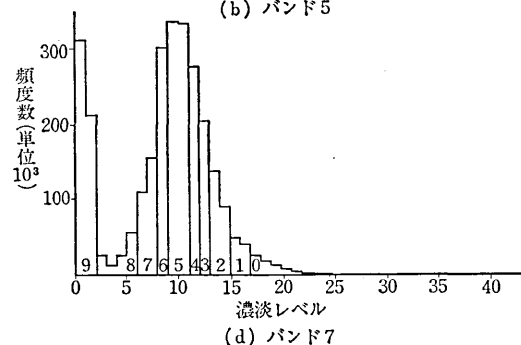
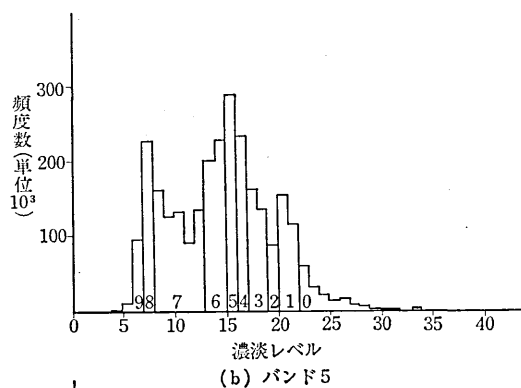
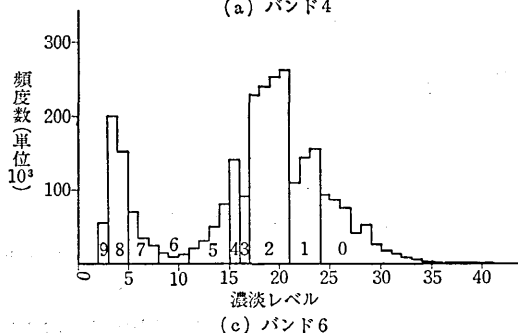
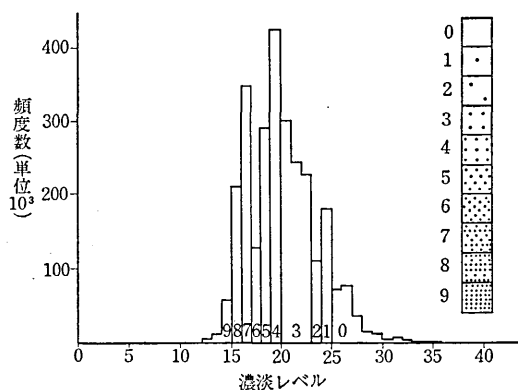
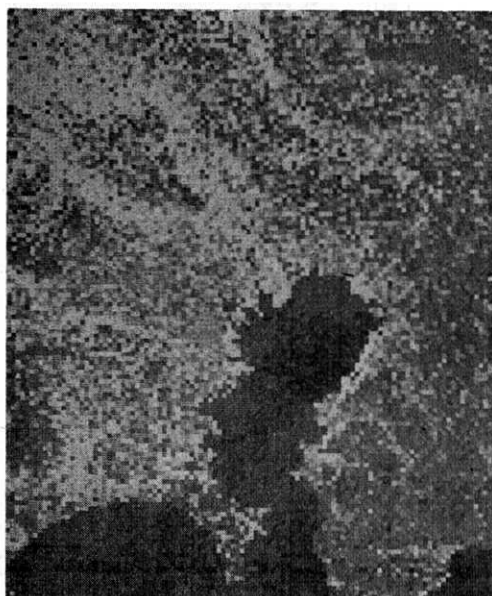


図 5 ERTS 原データのヒストグラム



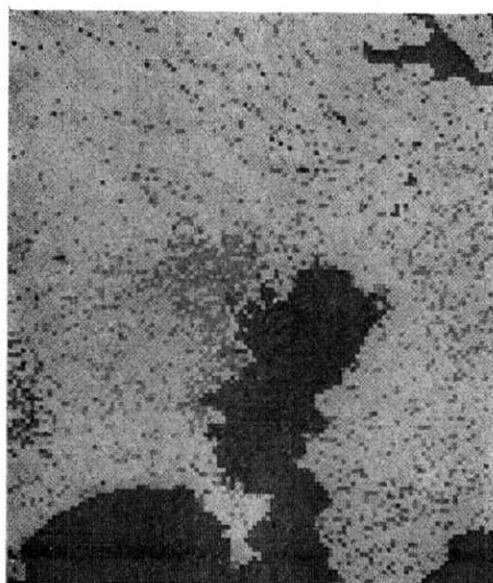
(a) 4 バント

$$\text{データ圧縮率} \frac{1}{12 \times 16} = \frac{1}{192}$$



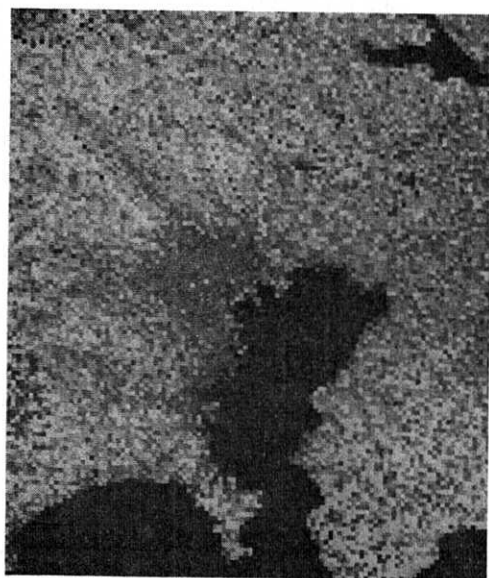
(b) 5 バント

$$\text{データ圧縮率} \frac{1}{12 \times 16} = \frac{1}{192}$$



(c) 6 バント

$$\text{データ圧縮率} \frac{1}{12 \times 16} = \frac{1}{192}$$



(d) 7 バント

$$\text{データ圧縮率} \frac{1}{12 \times 16} = \frac{1}{192}$$

図 6 ERTS デジタルデータの画像化

大値, 最小値, 平均値, 標準偏差および度数が 10 以上の実効範囲を示すと表 1 のようになる。ただし, 第 1 巻目の磁気テープ内の 17 ライン分に相当する約 7600 の画素はパリティエラーにより読取り不可能であったため統計処理から除外した。

図 5 は, 4 つのバンドに対するヒストグラムをあらわしたものである。ヒストグラムの図の 0 から 9 までの数

字は, 図 6 に示した画像の 10 段階の濃淡レベルを示しており, 図 5 (a) に示されるように, 0 に近い値程白く, 9 に近い程黒い濃淡を示している。

図 6 は, ヒストグラム上で 10 の濃淡レベルに分割したものを画像化したものである。この画像は, 6×6 のドットで濃淡表現されたもので, Varian Data Machine 社のドットプリンタで作成されたものである。なお画像

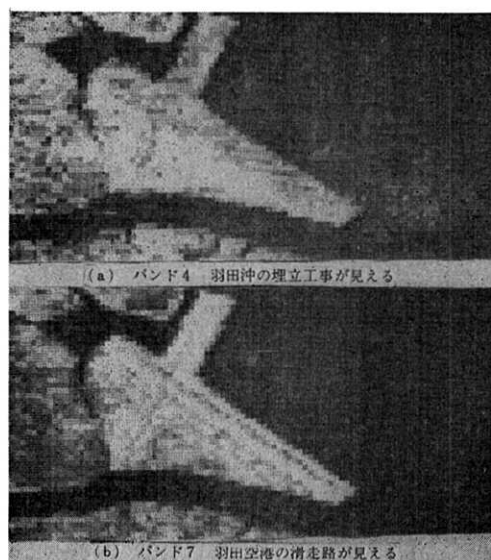


図7 ERTS 映像の最小単位の画素

は、紙面の都合で、12スキャンライン毎および16画素毎にデータ圧縮されている。

図7は、羽田空港付近の地域をデータ圧縮しないで、1画素ずつおよび1スキャンライン毎に画像化したもので、きわめて微視的に地上の物体を見ることが可能である。

これらのヒストグラムおよびDA変換された画像からつぎのことが指摘される。

- (1) 一般にどのバンドにおいても大きな二つのピークが見られ、海域および湖沼などの水域は、低いレベルの方のピークに対応している。
- (2) バンド4においては、海域部および山岳部は低い濃度レベルをもつ。浅海部および埋立地の状況がよく識別できる。都市および平野部は高いレベルの濃度をもつ。

(3) バンド5においては、水域および山岳は低い濃度レベルをもち、平野部および埋立地は高い濃度レベルを有する。森林部は低濃度であり、田畑は高濃度である。

(4) バンド6においては、水域と陸部とは明瞭に識別される。都市部は濃度レベル8から16ぐらいまでの平均値より小さい半暗色濃度レベルに対応する。海域部においても、いくつかの濃淡レベルを有する。これは、フィルム化された画像では海域が黒一色に見えることを考えるときわめて注目すべきことである。

(5) バンド7においては、水域と陸部とはきわめて明瞭に区別できる。水域部は0または1の濃度レベルである。都市部は、水域の濃度レベルより小さくない濃度レベルを有しているが、全般に2から8ぐらいまでの値の範囲内に入っている。山岳部に影のような低濃度レベルの部分が散在している。

2.2 二次元ヒストグラムの作成とその画像化

以上に考察したように、海域、湖沼、浅海、平野、都市部、山岳などの土地利用区分は、それぞれのスペクトル波長域バンドでそれぞれ特有の濃度レベルを有している。したがって、4つのスペクトルバンドで多次元画像空間を構成して多次元ヒストグラムを作成すると、土地利用区分に対応してそれぞれ特有の画像領域をつくることが期待される。

4つのバンドからつくられる4次元画像空間内のヒストグラムを図解表現することができないので、おのおの二つのバンドを選んだ二次元のヒストグラムを作成した。

図8は、昭和47年11月26日のERTS映像の第3巻目に相当する地域の2バンド間の度数を等高線表示したものである。図の等高線は10,000回毎に描かれており、

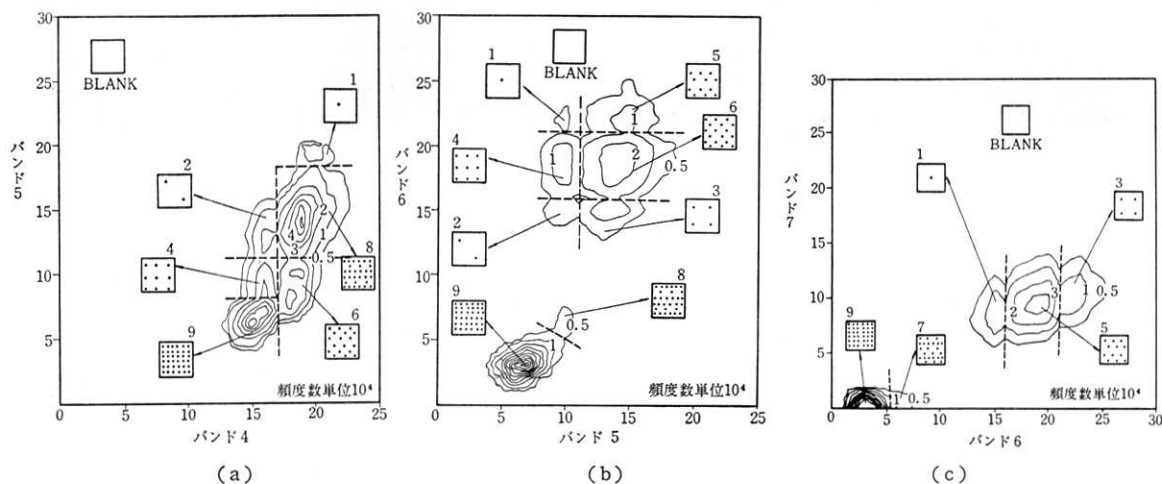
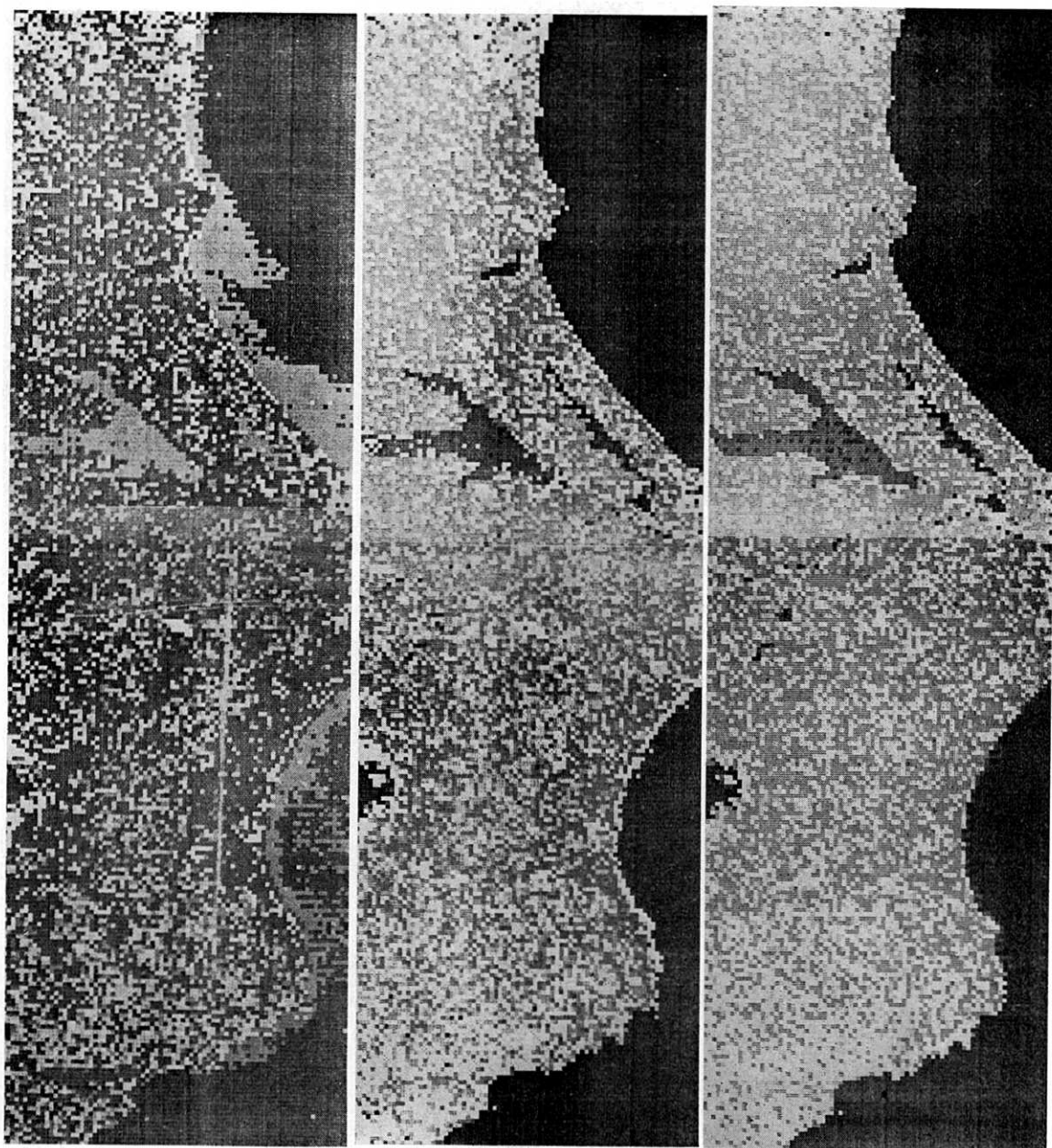


図8 2バンド間のヒストグラム



(a) バンド4とバンド5の
識別領域の画像化

(b) バンド5とバンド6の
識別領域の画像化

(c) バンド6とバンド7の
識別領域の画像化

図 9 識別領域の画像化

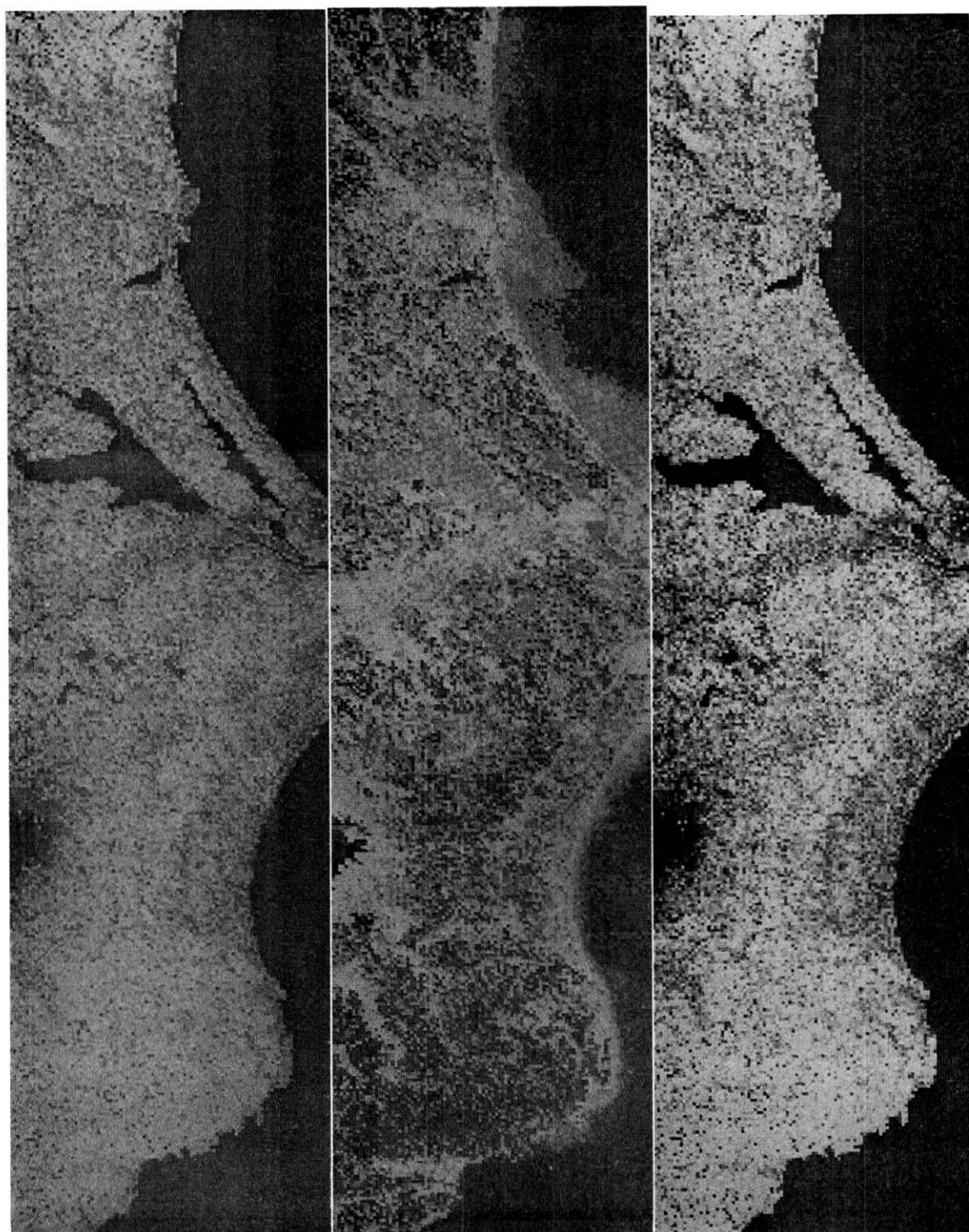
最小度数の等高線は5,000回である。4バンドから2バンドを選ぶ組合せは6ケースがあるが、紙面の都合上、バンド4とバンド5、バンド5とバンド6、バンド6とバンド7の3ケースのみ示す。

この2次元ヒストグラムからつぎのこと指摘できる。

- (1) 土地利用の形態に応じて、それぞれ異なる画像領域をつくり、それぞれはほぼ正規分布を示す。
- (2) 水域部は、3つの図でいずれも左下の楕円状の

領域を形成しており、陸部と明瞭に区別できる。

- (3) 陸部の画像領域は、数個のグループを形成しており、それぞれ山岳、農地、都市などの土地利用に対応していると推定される。
- (4) バンド4およびバンド5の二次元ヒストグラム上で左下の水域のグループの右上にある小さなグループは浅海部または濁水部を示している。
- (5) 各バンドの濃淡のみでは識別できないものが、二次元ヒストグラム上で識別可能なグループを形



(a) バンド4の原データ

(b) バンド4の正規化データ

(c) x_2/x_1

図 10 原データと前処理データ

(d) $(x_s - x_i)(x_s + x_i)$

図 10

成する。

図9は、それぞれ異なると思われる画像領域をいくつかグルーピングし、その領域に対応する識別領域を画像化したものである。グルーピングの方法は図8の上で点線の分割線で示されており、画像の異なる濃度に対応する。

本来は、地上の物体とこれらの画像との対応を調査して、それぞれのグループにより何が識別されたかを精査すべきであるが、本研究ではまえにものべたように次の発表にそれらの対応の結果をゆずることとする。

3. ERTS データの前処理

3.1 前処理モード

ERTSデータを用いて、特殊の物体の識別を行う場合に、原データをそのまま用いるよりも、ある関数式にあてはめて用いる方が、より特殊な特徴が強調されて表現されることがある。現在のところどのような関数を用いれば、どのような特徴が強調されるかはわかっていないが、ここでは原データをつぎに示す4つの前処理モードにあてはめて変換を行った。

$$(1) \text{ 正規化モード } x_i' = (x_i - \bar{x}_i) / \sigma$$

x_i' : 前処理されたデータ

x_i : バンド i の画像データ

\bar{x}_i : バンド i の画像データの平均値

σ : バンド i の画像データの標準偏差

$$(2) \text{ 標準化モード } x_i' = x_i / \sum_{i=4}^7 x_i$$

$\sum_{i=4}^7 x_i$: バンド4からバンド7までの画像濃度レベルの和

$$(3) \text{ スペクトル比のモード } x_{ij}' = x_i / x_j$$

x_i / x_j : バンド i の画像濃度レベルをバンド j の画像濃度レベルで割った値

$$(4) \text{ 差と和の比のモード } x_{ii}' = (x_i - x_j) / (x_i + x_j)$$

以上に示した前処理モードの概略の特徴をのべるとつぎのようになる。

(1) 正規化モードは、コントラストの低い画像のコントラストを増幅する場合に有効である。ERTS画像でいえば、バンド4の画像に有効である。しかし、他のバンドでは正規化モードを用いなくてもよい。

(2) 標準化モードはどのように適切に用いてよいかわからないが、全般的にコントラストがむしろ減幅される。ERTS画像の処理にはあまり有効とは思われない。

(3) スペクトル比のモードは、用いる二つのバンドの組合わせによって多様なヒストグラムを構成する。一般に地質あるいは土の含水率に対応する情

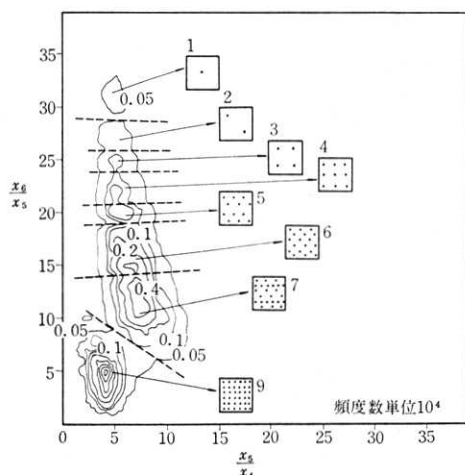


図 11(a) スペクトル比の二次元ヒストグラム

報が得られるといわれているが、本研究では確かめていない。

- (4) 差と和の比のモードは、スペクトル比のモードよりさらに複雑なヒストグラムを構成する。よってある特殊な物体のエンハンスメントに有効であるかもしれないが、どの組合せのものがどんな特徴をエンハンスするかはたしかめていない。

3.2 前処理データの画像化と二次元ヒストグラム

前にのべた ERTS 画像の第3巻目の磁気テープを用いて、前処理モードにかけたデータを画像化してみた。また、前処理されたデータの二次元ヒストグラムを作成した。

ここでは紙数の関係上、すべてのケースを紹介することができないので、特徴的であると思われるもののみを紹介する。

図 10 は、第3巻目の磁気テープに格納されたデータのうち、4画素おきおよび3スキャンライン毎にピックアップして、1/12のデータ圧縮率で画像化したもので、バンド4の原データ、バンド4の正規化データ、バンド5とバンド7のスペクトル比のデータ、バンド5とバンド7の差と和の比のデータを画像化したものを示す。

図 11(a) は、2つのスペクトル比、すなわち x_5/x_4 と x_6/x_5 の二次元ヒストグラムであり、図 11(b) はそのヒストグラムのグループ化された画像領域を画像化したものである。この図では、水域、平野部および山岳部が識別されている。

4. 研究の成果および今後の課題

以上の研究から得られた成果をまとめるとつぎのようになる。

- (1) ERTS デジタルデータは、ERTS 画像のもつ最大限の幾何学的解像力をもつ。1画素に対応する地上解像面積は約 $57\text{ m} \times 76\text{ m}$ であり、5万分



図 11(b) 識別領域の画像化

- の1の地図上で約 $1.2\text{ mm} \times 1.5\text{ mm}$ に相当する。ERTS 写真をアナログ処理したのでは高々20万分の1の地図に対応する解像力しか期待できない。
- (2) ERTS デジタルデータは、30ないし60の有効濃淡レベルを有しており、フィルム化されたERTS写真よりはるかに多くの濃淡レベルを有している。たとえば、バンド6の近赤外写真では、海域部は黒一色にしか見えないが、デジタルデータでは、約4レベルの濃淡レベルを有しており、微妙な海上の変化をとらえている。
- (3) デジタル画像データは、任意の濃度階級化が

可能である。興味のある濃淡レベルを適当にグルーピングして階級化することができる。

- (4) デジタル画像データは、任意の関数の前処理またはエンハンスを行うことが可能である。フィルムを光学処理する場合には、加減算のみが可能であるが、数値処理では乗除算も可能である。
- (5) 多次元の画像空間内のヒストグラムを作成することにより、異なる物体の画像空間内に占める領域を探し出すことが可能である。すなわち、多次元画像解析を行うことにより、アナログのカラー合成などよりはるかに複雑で高度な識別が可能である。
- (6) 所要の精度に応じて任意のデータ圧縮を行い、データ処理および解析の能率化をはかることが可能である。
- (7) ドットプリンタを用いることにより、デジタル画像データをきわめて高速に濃淡のある画像に表示して、判読、識別あるいは地図作成を行うことが可能である。

デジタル画像データをさらに高度利用するためには以下にのべる課題の解決が是非とも必要となる。

- (1) ヒストグラムの形の特徴が、地上の物体のどのような種類あるいは特徴とどのような相関があるかを見出すこと。これは一次元のヒストグラムの

みでなく、多次元のヒストグラムについても行わなければならない。

- (2) どのような前処理モードが、どのような物体の特徴をエンハンスするかを見出すこと。
- (3) (1), (2) を解決することにより、土地利用の自動判読のための決定モデルを確立すること。
- (4) 既存の地図と重ね合わせて比較または精査することが可能なように、データの変換、再配列または内挿などの幾何学のおよび画像的補正を行うこと。
- (5) デジタル画像データを画像化する場合に高精度のカラー表示装置の開発を行うこと。

お わ り に

わが国の ERTS 写真はいまでも数多く紹介され、その有用性が説かれてきた。幸いに、村井はわが国初めての ERTS デジタル磁気テープを入手することができたので、社内とともにその内容をしらべてみた。これによりデジタル画像データは、ERTS 写真にくらべてさらに多くの可能性を有していることがわかった。同時に解決すべき課題が数多く残っていることもわかった。

最後に、膨大なデータの処理に多大の協力をしていただいた三菱総合研究所の荘島氏および西原氏、画像化にドットプリンタの便宜をはかっていただいた昭和情報機器 KK の伊藤氏に謝意を表する。(1974 年 5 月 25 日受理)

